



Docket No.: P-0587

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

Moon-Ju PARK

Serial No.: 10/668,320

Confirm. No.: To be assigned

Filed: September 24, 2003

: Customer No.: 34610

For: IMPROVED EDF SCHEDULING METHOD

TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT

U.S. Patent and Trademark Office
2011 South Clark Place
Customer Window
Crystal Plaza Two, Lobby, Room 1B03
Arlington, Virginia 22202

Sir:

At the time the above application was filed, priority was claimed based on the following application:

Korean Patent Application No. 50708/20003 filed July 23, 2003.

A copy of each priority application listed above is enclosed.

Respectfully submitted,
FLESHNER & KIM, LLP

Daniel Y.J. Kim
Registration No. 36,186

P. O. Box 221200
Chantilly, Virginia 20153-1200
703 502-9440
Date: October 9, 2003

Please direct all correspondence to Customer Number 34610

대한민국 특허청

KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

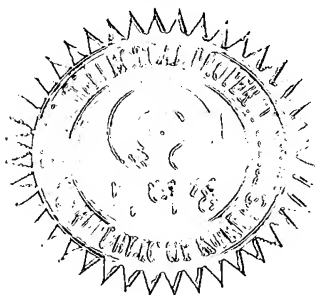
별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.

출원 번호 : 10-2003-0050708
Application Number

출원 년 월 일 : 2003년 07월 23일
Date of Application JUL 23, 2003

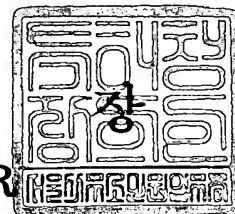
출원인 : 엘지전자 주식회사
Applicant(s) LG Electronics Inc.



2003 년 09 월 08 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	명세서 등 보정서
【수신처】	특허청장
【제출일자】	2003.09.03
【제출인】	
【명칭】	엘지전자 주식회사
【출원인코드】	1-2002-012840-3
【사건과의 관계】	출원인
【대리인】	
【성명】	박장원
【대리인코드】	9-1998-000202-3
【포괄위임등록번호】	2002-027075-8
【사건의 표시】	
【출원번호】	10-2003-0050708
【출원일자】	2003.07.23
【심사청구일자】	2003.07.23
【발명의 명칭】	개선된 E D F 스케줄링 방법
【제출원인】	
【접수번호】	1-1-2003-0269677-60
【접수일자】	2003.07.23
【보정할 서류】	명세서등
【보정할 사항】	
【보정대상항목】	별지와 같음
【보정방법】	별지와 같음
【보정내용】	별지와 같음
【취지】	특허법시행규칙 제13조·실용신안법시행규칙 제8조의 규정에의하여 위와 같 이 제출합니다. 대리인 박장원 (인)
【수수료】	
【보정료】	0 원
【추가심사청구료】	0 원
【기타 수수료】	0 원
【합계】	0 원

1020030050708

출력 일자: 2003/9/17

【첨부서류】

1. 보정내용을 증명하는 서류_1통

【보정대상항목】 식별번호 20

【보정방법】 정정

【보정내용】

본 발명에서는 스케줄링할 작업 수가 우선순위 수준의 수 (2^k)보다 적은지 판단하고 작업 수가 우선순위 수준의 수보다 적은 경우 각 작업의 우선순위는 해당 작업의 마감시한(d_i)을 최대마감시한(T_{\max})으로 나눈 나머지 수를 특정 시간단위(q)로 나눈 값으로 결정된다. 상기 최대마감시한은 작업들 중 가장 긴 주기를 가진 작업의 상대마감시한이고 상기 특정 시간단위는 상기 최대마감시한을 우선순위 수준의 수로 나누어 얻은 값이다.

【보정대상항목】 식별번호 23

【보정방법】 정정

【보정내용】

마감시한이 $2^{m-1}T_{\min}$ 보다 크고 $2^m T_{\min}$ 보다 작은 태스크의 우선순위 (P_i)는 식 $P_i = (m-1)x + \left\lfloor \frac{d_i \bmod 2^m T_{\min}}{q(m)} \right\rfloor$ 에 의해 구해지며, 여기서 $q(m)$ 은 m 번째 시계침과 관련된 시간단위이고, x 는 각 현재시간지시자와 관련된 우선순위 수준의 수, d_i 는 해당 태스크의 마감시한이다. 여기서, 현재시간 지시자의 수는 $\left\lfloor \frac{2^k}{x} \right\rfloor$ 개이다.

【보정대상항목】 식별번호 24

【보정방법】 정정

【보정내용】

m번째 현재시간지시자의 값 $C(m)$ 은 식 $C(m) = \left\lfloor \frac{(current_time) \bmod 2^m T_{mh}}{q(m)} \right\rfloor$ 에 의해 갱신된다.

【보정대상항목】 식별번호 30

【보정방법】 정정

【보정내용】

$$q = \frac{T_{\max}}{2^k}$$

【보정대상항목】 식별번호 34

【보정방법】 정정

【보정내용】

$$P_i = \left\lfloor \frac{d_i \bmod T_{\max}}{q} \right\rfloor$$

【보정대상항목】 식별번호 38

【보정방법】 정정

【보정내용】

$$C = \frac{(current_time) \bmod T_{\max}}{q}$$

【보정대상항목】 식별번호 50

【보정방법】 정정

【보정내용】

$$q(m) = \frac{2^m T_{\min}}{x}$$

【보정대상항목】 식별번호 53

【보정방법】 정정

【보정내용】

$$x = \left\lfloor \frac{2^k}{\log_2 \frac{T_{\max}}{T_{\min}}} \right\rfloor$$

【보정대상항목】 식별번호 57

【보정방법】 정정

【보정내용】

$$P_i = (m-1)x + \left\lfloor \frac{d_i \bmod 2^m T_{\min}}{q(m)} \right\rfloor$$

【보정대상항목】 식별번호 58

【보정방법】 정정

【보정내용】

이때, 시계침은 $\left\lfloor \frac{2^k}{x} \right\rfloor$ 개로 유지되며, 시스템의 현재시간이 갱신될 때 m번째 시계침 C(m) 은 다음 식 7에 의해 갱신된다.

【보정대상항목】 식별번호 60

【보정방법】 정정

【보정내용】

$$C(m) = \left\lfloor \frac{(current_time) \bmod 2^m T_{min}}{q(m)} \right\rfloor$$

【보정대상항목】 식별번호 62

【보정방법】 정정

【보정내용】

따라서, 우선순위 비트수가 k인 경우, 시스템 사용률이 $1 - \frac{1}{2^k} \cdot \frac{T_{max}}{T_{min}}$ 보다 작거나 같으

$$1 - \frac{2^k}{\log_2 \frac{T_{max}}{T_{min}}}$$

면 스케줄링이 가능하며, k가 충분하지 않은 경우에는 시스템 사용률이

보다 작거나 같다면 스케줄 가능하다.

【보정대상항목】 청구항 5

【보정방법】 정정

【보정내용】

제 4항에 있어서, 상기 최대마감시한은 작업들 중 가장 긴 주기를 가진 작업의 상대
마감시한인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【보정대상항목】 청구항 9

【보정방법】 정정

【보정내용】

제 2항 또는 제 3항에 있어서, 작업 수가 우선순위 수준의 수보다 적은 경우, 각 작업의 우선순위(P_i)는 식 $P_i = \left\lfloor \frac{d_i \bmod T_{\max}}{q} \right\rfloor$ 에 의해 결정되며, 여기서 d_i 는 해당 작업의 마감시한을 나타내고 T_{\max} 는 최대마감시한을 그리고 q 는 특정 시간단위인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【보정대상항목】 청구항 10

【보정방법】 정정

【보정내용】

제 9항에 있어서, 상기 T_{\max} 는 작업들 중 가장 긴 주기를 가진 작업의 상대마감시한인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【보정대상항목】 청구항 11

【보정방법】 정정

【보정내용】

제 10항에 있어서, 상기 특정 시간단위(q)는 식 $q = \frac{T_{\max}}{2^k}$ 에 의해 계산되는 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【보정대상항목】 청구항 12

【보정방법】 정정

【보정내용】

제 11항에 있어서, 현재시간은 식 $C = \frac{(current_time) \bmod T_{max}}{q}$ 에 의해 갱신되며, 여기서 current_time은 시스템의 현재시간인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【보정대상항목】 청구항 15

【보정방법】 정정

【보정내용】

제 14항에 있어서, 마감시한이 $2^{m-1}T_{min}$ 보다 크고 $2^m T_{min}$ 보다 작은 태스크의 우선순위 (P_i)는 식 $P_i = (m-1)x + \left\lfloor \frac{d_i \bmod 2^m T_{min}}{q(m)} \right\rfloor$ 에 의해 구해지며, 여기서 $q(m)$ 은 m 번째 시계침과 관련된 시간단위이고, x 는 각 현재시간지시자와 관련된 우선순위 수준의 수, d_i 는 해당 태스크의 마감시한인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【보정대상항목】 청구항 16

【보정방법】 정정

【보정내용】

제 15항에 있어서, 현재시간 지시자의 수는 $\left\lfloor \frac{2^k}{x} \right\rfloor$ 개 인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【보정대상항목】 청구항 17

【보정방법】 정정

【보정내용】

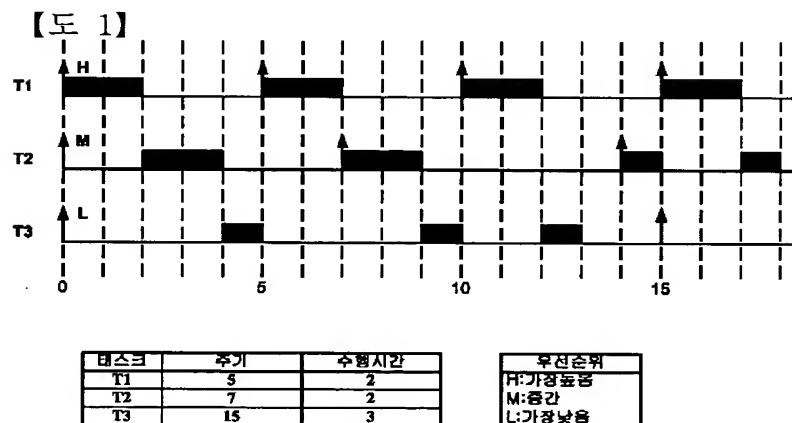
제 16항에 있어서, m번째 현재시간지시자의 값 C(m)은 식

$$C(m) = \left\lfloor \frac{(current_time) \bmod 2^m T_{min}}{q(m)} \right\rfloor$$
에 의해 갱신되는 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【보정대상항목】 도 1

【보정방법】 정정

【보정내용】

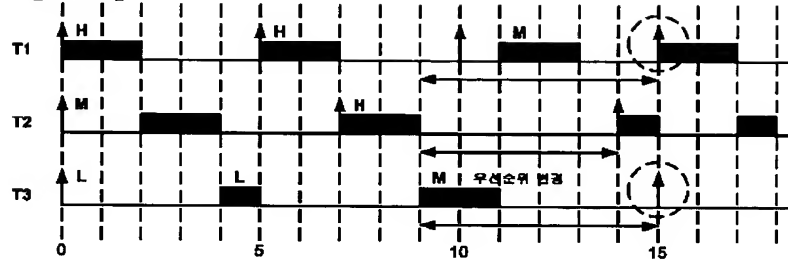


【보정대상항목】 도 2

【보정방법】 정정

【보정내용】

【도 2】



마스크	주기	수행시간
T1	5	2
T2	7	2
T3	15	3

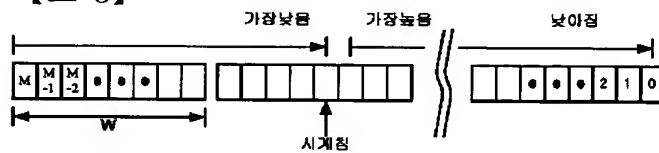
우선순위
H:가장높음
M:중간
L:가장낮음

【보정대상항목】 도 3

【보정방법】 정정

【보정내용】

【도 3】



M-2~1
W: 워드 길이

【보정내용】

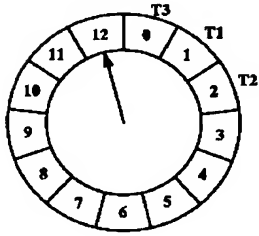
【보정내용】

【보정대상항목】 도 4c

【보정방법】 정정

【보정내용】

【도 4c】



【서지사항】

【서류명】	특허출원서		
【권리구분】	특허		
【수신처】	특허청장		
【참조번호】	0002		
【제출일자】	2003.07.23		
【국제특허분류】	H04B		
【발명의 명칭】	개선된 E D F 스케줄링 방법		
【발명의 영문명칭】	IMPROVED EARLIEST-DEADLINE-FIRST SCHEDULING METHOD		
【출원인】			
【명칭】	엘지전자 주식회사		
【출원인코드】	1-2002-012840-3		
【대리인】			
【성명】	박장원		
【대리인코드】	9-1998-000202-3		
【포괄위임등록번호】	2002-027075-8		
【발명자】			
【성명의 국문표기】	박문주		
【성명의 영문표기】	PARK, Moon Ju		
【주민등록번호】	720206-1001811		
【우편번호】	110-771		
【주소】	서울특별시 종로구 창신3동 쌍용아파트 105동 808호		
【국적】	KR		
【공지예외적용대상증명서류의 내용】			
【공개형태】	학술단체 서면발표		
【공개일자】	2003.03.26		
【심사청구】	청구		
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 박장원 (인)		
【수수료】			
【기본출원료】	18	면	29,000 원
【가산출원료】	0	면	0 원

1020030050708

출력 일자: 2003/9/17

【우선권주장료】	0	건	0	원
【심사청구료】	17	항	653,000	원
【합계】	682,000			원
【첨부서류】	1. 요약서·명세서(도면)_1통 2. 공지에외적용대상(신규성상실의예 외, 출원시의특례)규정을 적용받 기 위한 증명서류_1통			

【요약서】**【요약】**

본 발명에 따른 EDF 스케줄링 방법에서는 스케줄링할 작업들의 수를 체크하고, 작업들에 우선순위를 할당하고, 현재시간을 가장 낮은 우선순위로 갱신하고, 갱신된 가장 낮은 우선순위로부터 시간축상 마감시간이 가장 가까운 작업부터 처리한다. 상기한 바와 같이, 본 발명에 따른 EDF 스케줄링에서는 현재시간에 가장 낮은 우선순위 수준을 지시는 시계침을 설정하고 시계방향으로 해당 태스크들을 검색하여 가장 먼저 검색되는 태스크를 가장 먼저 처리하게 함으로써, 각 태스크에 할당된 우선순위의 변경 없이 상수 시간 복잡도에서 스케줄링이 가능하다.

【대표도】

도 3

【색인어】

EDF알고리즘

【명세서】**【발명의 명칭】**

개선된 EDF 스케줄링 방법{IMPROVED EARLIEST-DEADLINE-FIRST SCHEDULING METHOD}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 종래의 RM(Rate Monotonic) 스케줄링을 설명하기 위한 예시도;

도 2는 종래의 EDF 스케줄링을 설명하기 위한 예시도;

도 3은 본 발명의 EDF 스케줄링 방법에 적용되는 비트맵 구조를 보인 개념도;

도 4a는 본 발명의 EDF 스케줄링 방법에서 시간 0에서의 각 태스크들의 우선순위를 설명하기 위한 예시도;

도 4b는 본 발명의 EDF 스케줄링 방법에서 시간 11에서의 각 태스크들의 우선순위를 설명하기 위한 예시도; 그리고

도 4c는 본 발명의 EDF 스케줄링 방법에서 시간 12에서의 각 태스크들의 우선순위를 설명하기 위한 예시도.

【발명의 상세한 설명】**【발명의 목적】****【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】**

- <7> 본 발명은 실시간 스케줄링에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 우선순위 할당이 상수 시간 복잡도에서 이루어지도록 하는 EDF 스케줄링 방법에 관한 것이다.
- <8> 최근들어, 컴퓨터 및 컴퓨터 네트워크 시스템 기술의 급성장과 함께 다양한 실시간 멀티미디어 애플리케이션들이 등장하고 있으며, 이러한 실시간 애플리케이션들이 점점 더 정교하고 복

잡해짐에 따라 시스템의 성능 및 신뢰성 증진을 위해 실시간 스케줄링에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

- <9> 여러 가지 알려진 실시간 스케줄링 기법들 중 Rate Monotonic (RM)과 Earliest Deadline First (EDF) 알고리즘이 멀티미디어 스케줄링에 적합한 것으로 평가되고 있다.
- <10> 특히, EDF 알고리즘은 시스템 활용도가 100%라는 점에서 최적의 스케줄링 알고리즘으로 인정받고 있으나, 구현의 복잡성과 일시적 과부하 시의 불안정성 때문에 RM 과 같은 고정 우선순위 알고리즘이 더 자주 사용되고 있다.
- <11> 도 1과 도2 는 각각 종래의 RM과 EDF 스케줄링을 설명하기 위한 예시도로서, 서로 다른 주기와 수행시간을 갖는 세 개의 태스크 (T1, T2, T3)가 RM 및 EDF 알고리즘에 따라 스케줄링되는 과정을 보여주고 있다.
- <12> RM 스케줄링의 경우, 태스크들은 주기(period)가 짧을 수록 높은 우선순위(priority)를 할당받는다. 도 1에서 보는 바와 같이, 주기가 5인 태스크 T1이 가장 높은 우선순위 H를 할당받고, 주기가 7인 태스크 T2가 중간 우선순위 M을, 그리고 주기가 15인 태스크 T3가 가장 낮은 우선순위 L을 할당받는다. RM 스케줄링에서는 일단 태스크들의 우선순위가 할당되면 시간이 경과해도 변경되지 않는다.
- <13> 반면, EDF 스케줄링의 경우, 태스크들의 우선순위는 태스크들의 데드라인

(deadline)에 의해 결정된다. 다시 말해, 현재 시간에서 데드라인이 가장 가까운 태스크가 가장 높은 우선 순위를 갖는다. 따라서, 도 2에서 보는 바와 같이, 시간 0에서는 데드라인까지의 시간이 5인 태스크 T1이 가장 높은 우선순위 H를 할당받고, 데드라인까지의 시간이 7인 태스크 T2가 중간 우선순위 M을, 그리고 데드라인까지의 시간이 15인 태스크 T3가 가장 낮은 우선순위 L을 할당 받는다. 그러나, 시간 9에 이르면 태스크 T1과 태스크 T2의 데드라인까지 남은 시간이 각각 6이고 태스크 T2의 데드라인까지 남은 시간이 5가 되어 우선순위가 변경된다.

- <14> 상기와 같은 EDF 스케줄링을 지원하는 운영체제들은 일반적으로 리스트 구조 혹은 힙(Heap) 형태의 데이터 구조를 사용한다. 이 경우 시스템의 태스크 수 혹은 메시지 수가 N 일 때 스케줄러가 다음 스케줄될 태스크 혹은 메시지를 선택하는 데에는 선형시간 $O(N)$ 가 요구된다.
- <15> 그러나, 예측 가능한 수행시간을 요구되며 여유시간이 많지 않은 실시간 네트워크나 실시간 내장형 시스템에서는 선형시간 복잡도의 스케줄러가 바람직하지 않으며, 상수시간에 스케줄될 것이 요구된다.
- <16> 이를 개선한 EDF에서의 우선순위 할당 방법이 메쉬(A. Mesh et.al)의 논문 "Earliest Deadline Message Scheduling with Limited Priority Inversion"에 개시되었다. 메쉬의 우선순위 할당 기법의 기본 개념은 현재 시간을 기준으로 하여 현재 태스크들 혹은 메시지들의 마감시간을 로그 스케일 (logarithmic scale)로 변환하고 이를 이용하여 우선순위를 할당하는 것이다. 메쉬의 우선순위 할당 기법에서 새로운 태스크 혹은 메시지가 추가되지 않는다면, 새로운 우선순위할당이 필요하지 않으므로 스케줄은 상수시간에 이루어진다. 그러나, 멀티미디어 등의 동적 시스템에서와 같이 사용자의 요구에 의한 동적 태스크의 생성/소멸이 빈번한 환경에서는 여전히 선형시간 복잡도를 가지게 된다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

- <17> 본 발명은 상기와 같은 문제를 해결하기 위해 창안된 것으로, 본 발명의 목적은 실행시간 오버헤드를 최소화 할 수 있는 EDF 스케줄링 방법을 제공하는 것이다.
- <18> 본 발명의 또 다른 목적은 하나의 태스크에 할당된 우선순위가 시간이 경과해도 바뀌지 않게 하여 우선순위 재할당에 의해 발생하는 실행시간 오버헤드를 제거함으로써 실행시간 오버헤드를 최소화 할 수 있는 EDF 스케줄링 방법을 제공하는 것이다.

【발명의 구성 및 작용】

- <19> 본 발명의 일 국면에 따른 EDF 스케줄링 방법에서는 스케줄링할 작업들의 수를 체크하고, 작업들에 우선순위를 할당하고, 현재시간을 가장 낮은 우선순위로 갱신하고, 갱신된 가장 낮은 우선순위로부터 시간축상 마감시간이 가장 가까운 작업부터 처리한다.
- <20> 본 발명에서는 스케줄링할 작업 수가 우선순위 수준의 수 (2^k)보다 적은지 판단하고 작업 수가 우선순위 수준의 수보다 적은 경우 각 작업의 우선순위는 해당 작업의 마감시간(d_i)을 최대 마감시간(T_{max})으로 나눈 나머지 수를 특정 시간단위(q)로 나눈 값으로 결정된다. 상기 최대마감시간은 작업들 중 가장 긴 주기를 가진 작업의 절대마감시간이고 상기 특정 시간단위는 상기 최대마감시간을 우선순위 수준의 수로 나누어 얻은 값이다.
- <21> 현재시간은 시스템의 현재시간을 상기 최대마감시간으로 나눈 나머지 값을 상기 특정시간단위로 나누어 얻은 값인 현재시간지시자에 의해 지시된다
- <22> 본 발명의 또 다른 국면에 따른 EDF 스케줄링 방법에서는 상기 작업 수가 우선순위 수준의 수보다 많은 경우, 작업들을 몇 개의 작업 세트들로 그룹화되고 각 작업세트에 하나의 현재시간 지시자가 설정된다.

<23> 마감시한이 $2^{m-1}T_{\min}$ 보다 크고 $2^m T_{\min}$ 보다 작은 태스크의 우선순위 (P_i)는 식

$$P_i = (m-1)x + \left\lfloor \frac{d_i \bmod 2^m T_{\min}}{q(m)} \right\rfloor$$
에 의해 구해지며, 여기서 $q(m)$ 은 m 번째 시계침과 관련된 시간단위이고, x 는 각 현재시간지시자와 관련된 우선순위 수준의 수, d_i 는 해당 태스크의 마감시한이다. 여기서, 현재시간 지시자의 수는 $\left\lfloor \frac{2^k}{x} \right\rfloor$ 개이다.

<24> m 번째 현재시간지시자의 값 $C(m)$ 은 식
$$C(m) = \left\lfloor \frac{(\text{current_time}) \bmod 2^m T_{\min}}{q(m)} \right\rfloor$$
에 의해 갱신된다.

<25> 본 발명에 따른 EDF 스케줄링 방법은 우선순위 수준(priority level)이 충분히 많은 경우와 우선순위 수준(priority level)이 충분하지 않고 유한한 경우의 우선순위 할당 기법 그리고 이와 같은 EDF 스케줄링 방법을 적용할 경우의 스케줄 가능성(schedulability) 검사 기법을 포함한다.

<26> 이하, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 EDF 스케줄링 방법을 첨부된 도면을 참조하여 설명한다.

<27> 본 발명에서는 시간축(temporal axis)을 퀀텀(quantum) 단위로 분할하고 각각의 태스크의 우선순위와 현재 시간을 지시하는 시계침을 계산하여 비트맵에 매핑하고, 상기 시계침을 주기적으로 갱신하여 태스크들의 우선순위 재할당 과정 없이 시계침에 대한 상대적인 우선순위에 의해 상기 태스크들을 스케줄링한다.

<28> 상기 퀀텀(q)은 스케줄링될 태스크들의 마감시간 중 가장 긴 마감시한을 우선순위 수준의 수 (2^k)로 나누어 계산되며 다음 식 1에 의해 표현된다.

<29> <식 1>

<30>

$$q = \frac{T_{\max}}{2^k}$$

<31> 여기서, T_{\max} 는 최대마감시한이고 k 는 우선순위를 위해 할당된 비트수이다.

<32> 각 태스크의 우선순위(P_i)는 다음 식 2에 의해 산출된다.

<33> <식 2>

<34>

$$P_i = \left\lfloor \frac{d_i \bmod T_{\max}}{q} \right\rfloor$$

<35> 여기서 d_i 는 해당 태스크의 마감시한이다.

<36> 또한, 상기 시계침(C)는 시스템의 현재 시간이 갱신될 때마다 다음 식 3에 의해 갱신된다.

<37> <식 3>

<38>

$$C = \frac{(current_time) \bmod T_{\max}}{q}$$

<39> 여기서, $current_time$ 은 시스템의 현재 시간이다.

<40> 도 3은 본 발명의 EDF 스케줄링 방법에 적용되는 비트맵 구조를 보인 개념도로, 상기 식 1 및 식 2를 이용해 스케줄링될 태스크들의 우선순위가 정해지면 상기 비트맵에 해당 우선순위 비트가 설정되고 상기 시계침은 상기 식 3에 의해 주기적으로 갱신된다.

<41> 이하, 이해를 돕기 위해, 본 발명에 따른 스케줄링 방법에서 3개의 태스크 (T_1 , T_2 , T_3)가 스케줄링되는 경우를 도 4a, 도 4b, 및 도 4c를 참조하여 설명한다.

<42> 도 4a, 도 4b, 및 도 4c는 본 발명의 EDF 스케줄링 방법에서 시간 경과함에 따라 각 태스크들의 우선순위가 결정되는 과정을 설명하기 위한 예시도이다.

- <43> 도 4a에서 보는 바와 같이, 시간 0에 주기가 2인 T1, 주기가 5인 T2, 그리고 주기가 15인 T3가 스케줄러에 도착하면, 상기 스케줄러는 식 1 및 식 2를 이용하여 상기 태스크들의 우선순위를 결정한다. 시간 0에서 상기 세 개의 태스크 중 최대마감시한 (T_{\max})은 T3의 주기와 같은 13이므로 13개의 우선순위 수준(priority levels)이 존재하며 식 2에 의해 T1, T2, T3의 마감시한 d_1 , d_2 , d_3 는 각각 2, 5, 0가 되고 ($d_1=2$, $d_2=5$, $d_3=0$) 식 3에 의해 시계침은 0를 가리킨다. 시계침이 지시하는 시간의 우선순위는 가장 낮고 시계방향으로 갈수록 우선순위는 낮아진다.
- <44> 시간이 경과하여 시간 11에 이르면, 도 4b에서 보는 바와 같이, 시계침은 시간 11을 가르키고 T1, T2, T3의 상대 마감시한은 상기 식 2에 의하여 각각 $d_1=1$, $d_2=4$, $d_3=2$ 가 된다. 따라서, 시간 11에서 태스크들은 T1, T3, T2 순으로 처리된다.
- <45> 시간 12에서는 도 4c에서 보는 바와 같이, 시계침은 시간 12를 가르키고 T1, T2, T3의 상대 마감시한은 상기 식 2에 의해 각각 $d_1=2$, $d_2=3$, $d_3=1$ 가 된다. 따라서, 시간 12에서 상기 태스크들은 T3, T1, T2의 순으로 처리된다.
- <46> 상기한 바와 같이, 본 발명에 따른 EDF 스케줄링 방법은 정확하게 EDF 스케줄링에서의 우선순위 설정 기법을 따른다. 종래의 EDF 스케줄링에서와 같이 현재시간에서 태스크들의 상대 마감시한을 산출하여 우선순위를 재할당하는 것이 아니라 현재시간에 가장 낮은 우선순위 수준을 지시는 시계침을 설정하고 시계방향으로 해당 태스크들을 검색하여 가장 먼저 검색되는 태스크를 가장 먼저 처리하기 때문에 우선순위 재할당에 따른 실행시간 오버헤드(runtime overhead)를 최소화 할 수 있다.
- <47> 실제 상황에서, 우선순위 수준의 수는 유한하기 때문에 태스크의 수가 할당할 수 있는 우선순위의 수보다 많을 수도 있다. 이 경우 다수의 시계침을 적용하여 효율적인 EDF 스케줄링이 가능하다.

<48> 이하, 본 발명의 또 다른 실시예를 설명하기로 한다. 본 발명의 제 2 실시예에서 스케줄링될 태스크들 중 가장 짧은 마감시한을 T_{\min} 그리고 가장 긴 마감시한을 T_{\max} 라 할때 m번째 시계침과 관련된 쿼텀 $q(m)$ 다음 식 4에 의해 구해진다.

<49> <식 4>

$$<50> \quad q(m) = \frac{2^m T_{\min}}{x}$$

<51> 여기서, x 는 각 시계침과 관련된 우선순위 수준의 수로 다음 식 5에 의해 구해진다.

<52> <식 5>

$$<53> \quad x = \left\lceil \frac{2^k}{\left\lfloor \log_2 \frac{T_{\max}}{T_{\min}} \right\rfloor} \right\rceil$$

<54> 여기서, k 는 우선순위 비트수이다.

<55> 마감시한이 $2^{m-1}T_{\min}$ 보다 크고 $2^m T_{\min}$ 보다 작은 태스크의 우선순위 (P_i)는 다음 식 6에 의해 구해진다.

<56> <식 6>

$$<57> \quad P_i = (m-1)x + \left\lfloor \frac{d_i \bmod 2^m T_{\min}}{q(m)} \right\rfloor$$

<58> 이때, 시계침은 $\left\lfloor \frac{2^k}{x} \right\rfloor$ 개로 유지되며, 시스템의 현재시간이 갱신될 때 m번째 시계침 $C(m)$ 은 다음 식 7에 의해 갱신된다.

<59> <식 7>

$$<60> \quad C(m) = \left\lfloor \frac{(current_time) \bmod 2^m T_{min}}{q(m)} \right\rfloor$$

<61> 본 발명에서는 상기 우선순위 수준이 충분한 경우와 우선순위 수준(priority level)이 충분하지 않은 경우의 시스템 사용율을 산출하여 각각의 경우의 스케줄 가능성을 검사한다. 여기서 시스템 사용률이란 태스크 또는 메시지의 처리 시간을 그 마감 시한으로 나눈 값의 총합이다.

<62> 따라서, 우선순위 비트수가 k인 경우, 시스템 사용률이 $1 - \frac{1}{2^k} \cdot \frac{T_{max}}{T_{min}}$ 보다 작거나 같으면 스케줄링이 가능하며, k가 충분하지 않은 경우에는 시스템 사용률이 $1 - \frac{2}{2^k \left\lceil \log_2 \frac{T_{max}}{T_{min}} \right\rceil}$ 보다 작거나 같다면 스케줄 가능하다.

【발명의 효과】

<63> 상기한 바와 같이, 본 발명에 따른 EDF 스케줄링에서는 현재시간에 가장 낮은 우선순위 수준을 지시는 시계침을 설정하고 시계방향으로 해당 태스크들을 검색하여 가장 먼저 검색되는 태스크를 가장 먼저 처리하기 함으로써, 각 태스크에 할당된 우선순위의 변경 없이 상수 시간 복잡도에서 스케줄링이 가능하다.

<64> 또한, 우선순위 수준이 충분하지 않은 경우 다수의 시계침을 설정하여 마감시한의 범위를 확장함으로써 시스템 사용율을 최대화 할 수 있다.

<65> 더욱이, 본 발명에 따른 EDF 스케줄링 방법에서는 한 번 할당된 우선순위가 변경되지 않기 때문에 우선순위 재할당에 의해 발생하는 실행시간 오버헤드를 최소화 할 수 있다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

스케줄링할 작업들의 수를 체크하고;

작업들에 우선순위를 할당하고;

현재시간을 가장 낮은 우선순위로 갱신하고;

갱신된 가장 낮은 우선순위부로부터 시간축상 마감시간이 가장 가까운 작업부터 처리하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 2】

제 1항에 있어서, 스케줄링할 작업 수가 우선순위 수준의 수보다 적은지 판단하는 것을 더욱 포함하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 3】

제 2항에 있어서, 우선순위 수준의 수는 2^k 개인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 4】

제 2항 또는 3항에 있어서, 작업 수가 우선순위 수준의 수보다 적은 경우, 각 작업의 우선순위는 해당 작업의 마감시간(d_i)을 최대마감시간(T_{max})으로 나눈 나머지 수를 특정 시간단위(q)로 나눈 값으로 결정되는 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 5】

제 4항에 있어서, 상기 최대마감시간은 작업들 중 가장 긴 주기를 가진 작업의 절대마감시간인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 6】

제 4항에 있어서, 상기 특정 시간단위는 상기 최대마감시한을 우선순위 수준의 수로 나누어 얻은 값인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 7】

제 4항에 있어서, 현재시간은 현재시간지시자에 의해 지시되는 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 8】

제 7항에 있어서, 상기 현재시간지시자는 시스템의 현재시간을 상기 최대마감시한으로 나눈 나머지 값을 상기 특정시간단위로 나누어 얻은 값인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 9】

제 2항 또는 제 3항에 있어서, 작업 수가 우선순위 수준의 수보다 적은 경우, 각 작업의 우선순위(P_i)는 식 $P_i = \left\lfloor \frac{d_i \bmod T_{\max}}{q} \right\rfloor$ 에 의해 결정되며, 여기서 d_i 는 해당 작업의 마감시한을 나타내고 T_{\max} 는 최대마감시한을 그리고 q 는 특정 시간단위인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 10】

제 9항에 있어서, 상기 T_{\max} 는 작업들 중 가장 긴 주기를 가진 작업의 절대마감시한인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 11】

제 10항에 있어서, 상기 특정 시간단위(q)는 식 $q = \frac{T_{\max}}{2^k}$ 에 의해 계산되는 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 12】

제 11항에 있어서, 현재시간은 식 $C = \frac{(\text{current_time}) \bmod T_{\max}}{q}$ 에 의해 갱신되며, 여기서 current_time은 시스템의 현재시간인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 13】

제 2항 또는 3항에 있어서, 작업 수가 우선순위 수준의 수보다 많은 경우, 작업들을 몇 개의 작업 세트들로 그룹화 하는 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 14】

제 13항에 있어서, 각 작업세트에 하나의 현재시간지시자를 설정하는 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 15】

제 14항에 있어서, 마감시한이 $2^{m-1}T_{\min}$ 보다 크고 $2^m T_{\min}$ 보다 작은 태스크의 우선순위 (P_i)는 식 $P_i = (m-1)x + \left\lfloor \frac{d_i \bmod 2^m T_{\min}}{q(m)} \right\rfloor$ 에 의해 구해지며, 여기서 $q(m)$ 은 m 번째 시계침과 관련된 시간단위이고, x 는 각 현재시간지시자와 관련된 우선순위 수준의 수, d_i 는 해당 태스크의 마감시한인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 16】

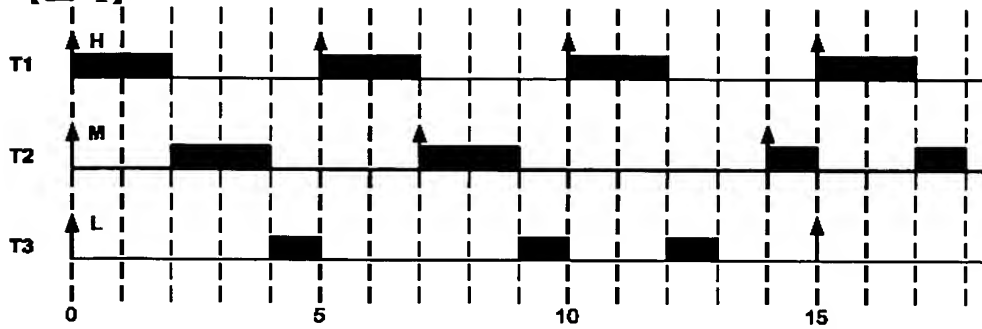
제 15항에 있어서, 현재시간 지시자의 수는 $\left\lfloor \frac{2^k}{x} \right\rfloor$ 개 인 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【청구항 17】

제 16항에 있어서, m번째 현재시간지시자의 값 $C(m)$ 은 식
$$C(m) = \left\lfloor \frac{(current_time) \bmod 2^m T_{min}}{q(m)} \right\rfloor$$
에 의해 갱신되는 것을 특징으로 하는 EDF 스케줄링 방법.

【도면】

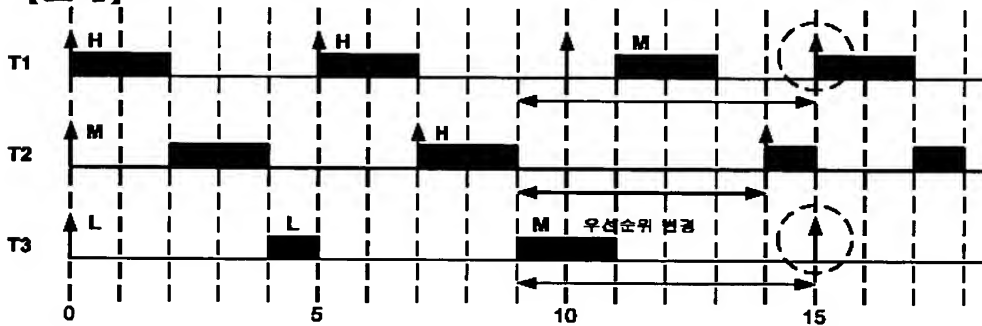
【도 1】



태스크	주기	수행시간
T1	5	2
T2	7	2
T3	15	3

우선순위
H: 가장 높음
M: 중간
L: 가장 낮음

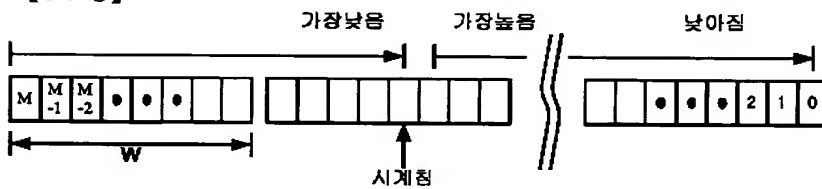
【도 2】



태스크	주기	수행시간
T1	5	2
T2	7	2
T3	15	3

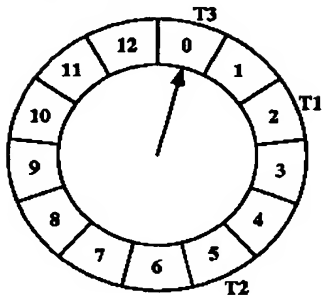
우선순위
H: 가장 높음
M: 중간
L: 가장 낮음

【도 3】

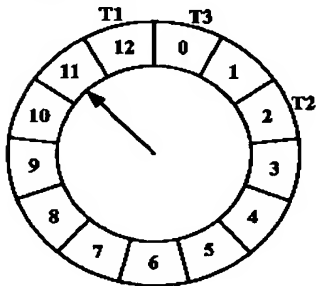


$M=2^k-1$
 W : 워드 길이

【도 4a】



【도 4b】



【도 4c】

